

EUROPEAN PATENT OFFICE

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 11029838
PUBLICATION DATE : 02-02-99

APPLICATION DATE : 15-07-97
APPLICATION NUMBER : 09189475

APPLICANT : SUMITOMO METAL IND LTD;

INVENTOR : KAMATA YOSHIHIKO;

INT.CL. : C22C 38/00 C22C 38/60

TITLE : NON-HEAT TREATED STEEL

ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a non-heat treated steel having fatigue resistance equal to that of a material prepared by applying refining treatment and soft-nitriding treatment to, e. g. a medium-C carbon steel for machine structural use and suitable for use as a steel for shafts.

SOLUTION: This steel has a composition consisting of, by weight, 0.20-0.50% C, 0.05-0.70% Si, >0.60-1.00% Mn, 0.01-0.07% S, 0.02-0.50% V, 0-0.05% Ti, 0-0.05% Zr, 0.002-0.03% N, 0-0.050% P, 0-0.30% Cu, 0-0.30% Ni, 0-1.00% Cr, 0-0.30% Mo, 0-0.50% W, 0-0.05% Nb, 0-0.050% Al, 0-0.30% Pb, 0-0.010% Ca, 0-0.10% Te, 0-0.10% Bi, and the balance Fe with inevitable impurities, satisfying $Ti+0.5Zr=0.005$ to 0.06%, and also satisfying $fn1=C+0.1Si+(Mn/6)+(Cr/3)+5N+1.65V>0.60\%$ and $(C/fn1)\leq 0.60$, where each symbol of element represents its content by weight percentage.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-29838

(43) 公開日 平成11年(1999) 2月2日

(51) Int.Cl.⁸

C 2 2 C 38/00
38/60

識別記号

3 0 1

F I

C 2 2 C 38/00
38/60

3 0 1 Y

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平9-189475

(22) 出願日 平成9年(1997) 7月15日

(71) 出願人 000002118

住友金属工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号

(72) 発明者 宇野 光男

福岡県北九州市小倉北区許斐町1番地住友
金属工業株式会社小倉製鉄所内

(72) 発明者 坂本 雅紀

福岡県北九州市小倉北区許斐町1番地住友
金属工業株式会社小倉製鉄所内

(72) 発明者 鎌田 芳彦

福岡県北九州市小倉北区許斐町1番地住友
金属工業株式会社小倉製鉄所内

(74) 代理人 弁理士 森 道雄 (外1名)

(54) 【発明の名称】 非調質鋼

(57) 【要約】

【課題】 中Cの機械構造用炭素鋼などに調質処理と軟窒化処理を施したのと同等の耐疲労特性を有するシャフト類用鋼として好適な非調質鋼を提供する。

【解決手段】 重量%で、C : 0.20~0.50%、Si : 0.05~0.70%、Mn : 0.60%を超え1.00%まで、S : 0.01~0.07%、V : 0.02~0.50%、Ti : 0~0.05%、Zr : 0~0.05%でTi+0.5Zr : 0.005~0.06%、N : 0.002~0.03%、P : 0~0.050%、Cu : 0~0.30%、Ni : 0~0.30%、Cr : 0~1.00%、Mo : 0~0.30%、W : 0~0.50%、Nb : 0~0.05%、Al : 0~0.050%、Pb : 0~0.30%、Ca : 0~0.010%、Te : 0~0.10%、Bi : 0~0.10%、残部はFe及び不純物からなり、 $fn1 = C + 0.1Si + (Mn/6) + (Cr/3) + 5N + 1.65V \geq 0.60\%$ 及び $(C/fn1) \leq 0.60$ である非調質鋼。但し、上記式における元素記号は重量%での含有量を意味する。

【特許請求の範囲】

【請求項1】重量%で、C：0.20～0.50%、Si：0.05～0.70%、Mn：0.60%を超え1.00%以下、S：0.01～0.07%、V：0.02～0.50%、Ti：0～0.05%及びZr：0～0.05%でTi+0.5Zr：0.005～0.06%、N：0.002～0.03%、P：0～0.05%、Cu：0～0.30%、Ni：0～0.30%、Cr：

$$f_{n1} = C + 0.1Si + (Mn/6) + 1.65V + 5N + (Cr/3) \cdot$$

$$\dots\dots \textcircled{1}, f_{n2} = (C/f_{n1}) \dots\dots \textcircled{2}$$

なお、式中の元素記号はその元素の重量%での含有量を表す。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、熱間での加工後に調質処理及び軟窒化処理を施さなくとも良好な耐疲労特性を有し、自動車エンジン部品のクランクシャフトなどシャフト類の素材として好適な非調質鋼に関する。

【0002】

【従来の技術】機械構造用部品、なかでも自動車エンジン部品のクランクシャフトやピニオンシャフトなどシャフト類は、従来、熱間加工や機械加工によって所定の形状に加工された後、焼入れ焼戻しの調質処理を受け、その後耐疲労特性を高める目的で軟窒化処理を施されて製造されることが多かった。すなわち、従来はJISの機械構造用炭素鋼であるS45CやS50C、あるいはこれらにS、Pb、Caなどの快削元素を添加した鋼を所要の形状に加工した後、調質処理と軟窒化処理を施して製造されることが多かった。

【0003】ところが、前記の熱処理には多くのエネルギーとコストを費やす。そのため近年、先ず省エネルギーと低コスト化の観点から熱間加工の状態で調質鋼と同等の特性を持つ非調質鋼、なかでも中炭素鋼をベースとしてこれに炭化物や炭窒化物を形成するV、NbやTiといった元素を添加した鋼が開発され、これに軟窒化処理を施してシャフト類を製造することが試みられてきた。

【0004】しかしながら、上記背景の下に提案された非調質鋼に対しては、耐疲労特性を高めるために、上述のようにやはり530～570℃で5～8時間の軟窒化処理が行われており、経済性の点で問題があった。

【0005】あるいは軟窒化処理を施さないで非調質鋼

$$f_{n1} = C + 0.1Si + (Mn/6) + 1.65V + 5N + (Cr/3) \cdot$$

$$\dots\dots \textcircled{1}, f_{n2} = (C/f_{n1}) \dots\dots \textcircled{2} \text{である。}$$

【0010】

【発明の実施の形態】本発明者らは、前記の課題を解決するため種々検討を重ねた結果、下記の知見を得た。

【0011】(a) Nは非調質鋼の静的強度（引張強度）を高めるだけではなく、疲労強度の向上に対しても極めて大きな効果を有する。

0～1.00%、Mo：0～0.30%、W：0～0.50%、Nb：0～0.05%、Al：0～0.05%、Pb：0～0.30%、Ca：0～0.010%、Te：0～0.10%、Bi：0～0.10%を含有し、残部はFe及び不可避不純物からなり、且つ下記①式で表される f_{n1} が $f_{n1} \geq 0.60\%$ 、及び下記②式で表される f_{n2} が $f_{n2} \leq 0.60$ であることを特徴とする非調質鋼。

の疲労強度を高めるために、引張強度を高くする手段も講じられているが、引張強度を高めることは被削性の劣化につながるので好ましくない。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、上記現状に鑑みなされたもので、調質処理と軟窒化処理の両方共を施さなくとも、上記機械構造用炭素鋼などに調質処理した後軟窒化処理を施す場合と同等の600MPa以上の引張強度と320MPa以上の疲労強度が得られる各種シャフト類の素材として好適な非調質鋼を提供することを課題とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明の要旨は、下記に示す非調質鋼にある。

【0008】すなわち、「重量%で、C：0.20～0.50%、Si：0.05～0.70%、Mn：0.60%を超え1.00%以下、S：0.01～0.07%、V：0.02～0.50%、Ti：0～0.05%及びZr：0～0.05%でTi+0.5Zr：0.005～0.06%、N：0.002～0.03%、P：0～0.05%、Cu：0～0.30%、Ni：0～0.30%、Cr：0～1.00%、Mo：0～0.30%、W：0～0.50%、Nb：0～0.05%、Al：0～0.05%、Pb：0～0.30%、Ca：0～0.010%、Te：0～0.10%、Bi：0～0.10%を含有し、残部はFe及び不可避不純物からなり、且つ式中の元素記号をその元素の重量%での含有量として、下記①式で表される f_{n1} が $f_{n1} \geq 0.60\%$ 、及び下記②式で表される f_{n2} が $f_{n2} \leq 0.60$ であることを特徴とする非調質鋼。

【0009】

【0012】(b) 鋼の化学組成が重量%で、C：0.20～0.50%、Si：0.05%以上、Mn：0.60%超、Cr：1.00%以下、V：0.02%以上及びN：0.002%以上の場合において、熱間加工ままの状態での疲労強度は前記の①式で整理できる。但し、前記した②式の値が0.60以下の場合に限る。

【0013】(c)①式で表される f_{n1} が0.60%以上、且つ②式で表される f_{n2} が0.60以下であれば、従来の機械構造用炭素鋼などに調質処理した後軟窒化処理を施す場合と同等の320MPa以上の疲労強度を得ることができる。

【0014】本発明は上記の知見に基づいて完成されたものである。

【0015】以下、本発明における鋼の化学組成を前記のように限定する理由について説明する。なお、成分含有量の「%」は「重量%」を意味する。

【0016】C：Cは、鋼に所望の静的強度を付与するのに必要な元素であるが、反面被削性を低下させ、又、一定量を超えると疲労強度を低下させる元素でもある。本発明が目的とする静的強度(引張強度で600MPa以上)を得るには0.20%以上の含有量とすることが必要である。一方、0.50%を超えて含有させると、被削性が低下するとともに疲労強度(疲労限度、 σ_w)の低下を招く。したがって、Cの含有量を0.20~0.50%とした。

【0017】Si：Siは、脱酸を促進するとともにフェライト中に固溶してフェライトを強化し、静的強度と疲労強度を高める作用がある。しかし、その含有量が0.05%未満では所望の効果が得られず、一方、0.70%を超えて含有すると切削性の劣化をきたす場合があるので、その含有量を0.05~0.70%とした。

【0018】Mn：Mnは、静的強度を向上させる作用を有する。しかし、その含有量が0.60%以下では添加効果に乏しい。一方、1.00%を超えて含有させてもその効果は飽和し、コストのみが上昇して経済性を損う。したがって、Mnの含有量を0.60%を超え1.00%までとした。

【0019】S：Sは、被削性を高める作用がある。その効果を充分発揮させるためには0.01%以上の含有量が必要である。一方、0.07%を超えて含有させると疲労強度の劣化をきたすことがある。したがって、Sの含有量を0.01~0.07%とした。

【0020】V：Vは、静的強度及び疲労強度を高める作用がある。しかし、その含有量が0.02%未満では添加効果に乏しく、0.50%を超えて含有しても前記効果は飽和し、コストのみが上昇して経済性を損うようになるので、その含有量を0.02~0.50%とした。

【0021】Ti及びZr：Ti及びZrは、単独であるいは複合して添加されると、強度と靱性を高めて強度-靱性バランスを良好にする作用を有する。その効果を確保するためにはTiと0.5Zrの和で0.005%以上の含有量が必要である。しかし、Ti及びZrをそれぞれ0.05%を超えて含有させると、又、Tiと0.5Zrの和で0.06%を超えて含有させると、却って靱性が低下するようになる。したがって、TiとZ

rについては、Ti含有量が0~0.05%及びZr含有量が0~0.05%で、Tiと0.5Zrの和で表される含有量を0.005~0.06%とした。

【0022】N：Nは、非調質鋼の静的強度を高めるだけではなく、疲労強度の向上に対しても極めて大きな効果を有する。これらの効果を充分発揮させるためには、Nは0.002%以上含有させることが必要である。一方、0.03%を超えて含有させてもその効果は飽和するばかりか、熱間加工性の劣化を招くようになる。したがって、Nの含有量を0.002~0.03%とした。なお、総合的な面からNの含有量は0.005~0.022%とすることが好ましい。

【0023】P：Pは含有させなくても良い。含有させれば疲労強度を高める作用がある。この効果を確実に得るには、Pは0.005%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が0.05%を超えると靱性の大きな劣化をきたすようになって疲労強度が却って劣化するので、その含有量を0~0.05%とした。

【0024】Cu：Cuは添加しなくても良い。添加すれば焼入れ性を高める作用がある。この効果を確実に得るには、Cuは0.01%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が0.30%を超えると熱間加工性の劣化を招くようになる。したがって、Cuの含有量を0~0.30%とした。

【0025】Ni：Niも添加しなくても良い。添加すれば焼入れ性を向上させるとともに靱性を向上させる作用を有する。この効果を確実に得るには、Niは0.01%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が0.30%を超えると被削性の劣化をきたすようになるし、経済性の面でも不利になる。したがって、Niの含有量を0~0.30%とした。

【0026】Cr：Crは添加しなくても良い。添加すれば焼入れ性を高めるとともに疲労強度を向上させる作用を有する。これらの効果を確実に得るには、Crは0.02%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、1.00%を超えて含有させてもその効果は飽和し、コストのみが上昇して経済性を損うことになる。したがって、Crの含有量を0~1.00%とした。

【0027】Mo：Moは添加しなくても良い。添加すれば焼入れ性を向上させるとともに靱性を向上させる作用を有する。この効果を確実に得るには、Moは0.01%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が0.30%を超えると前記効果は飽和して経済性を損なうこととなる。したがって、Moの含有量を0~0.30%とした。

【0028】W：0~0.50%
Wも添加しなくても良い。添加すればMoと同様に、焼入れ性及び靱性を高める作用を有する。この効果を確実に得るには、Wは0.01%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、0.50%を超えて含有させても前

記の効果は飽和するのでコストのみが高んで経済性の面で不利となる。したがって、Wの含有量を0～0.50%とした。

【0029】Nb：0～0.05%

Nbは添加しなくても良い。添加すれば靱性を高める作用がある。この効果を確実に得るには、Nbは0.005%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、0.05%を超えて含有させても前記効果は飽和し、コストのみが上昇して経済性を損うようになる。したがって、Nbの含有量を0～0.05%とした。

【0030】Al：Alは添加しなくても良い。添加すれば鋼の脱酸の安定化及び均質化の作用がある。この効果を確実に得るには、Alは0.001%以上の含有量とすることが望ましい。しかし、その含有量が0.05%を超えると酸化物系の介在物が増加して切削時に工具寿命の低下を招く。したがって、Alの含有量を0～0.05%とした。なお被削性を高めるために、鋼にPb、Ca、Te、Biを添加する場合には、Al含有量の上限を0.010%に規制することが好ましい。

【0031】Pb：Pbは添加しなくても良い。添加すれば被削性を高める作用を有する。この効果を確実に得るには、Pbは0.01%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が0.30%を超えると耐疲労特性の劣化をきたすようになる。したがって、Pbの含有量を0～0.30%とした。

【0032】Ca：Caは添加しなくても良い。添加すれば被削性を高める作用を有する。この効果を確実に得るには、Caは0.0003%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、0.010%を超えて含有させてもその効果は飽和し、経済性を損うこととなる。したがって、Caの含有量を0～0.010%とした。

【0033】Te：Teも添加しなくても良い。添加すれば被削性を高める作用を有する。この効果を確実に得るには、Teは0.01%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、0.10%を超えて含有させてもその

効果は飽和し、経済性を損うこととなる。したがって、Teの含有量を0～0.10%とした。

【0034】Bi：Biは添加しなくても良い。添加すれば被削性を高める作用を有する。この効果を確実に得るには、Biは0.005%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、0.10%を超えて含有させてもその効果は飽和し、経済性を損うこととなる。したがって、Biの含有量を0～0.10%とした。

【0035】fn1：鋼の化学組成が重量%で、C：0.20～0.50%、Si：0.05%以上、Mn：0.60%超、Cr：1.00%以下、V：0.02%以上及びN：0.002%以上の場合において、熱間加工ままの状態での疲労強度は前記①式のfn1で整理できる。そして、この値が0.60%以上で、且つ前記②式のfn2が0.60以下の場合に、従来の機械構造用炭素鋼などに調質処理した後軟窒化処理を施す場合と同等の320MPa以上の疲労強度を得ることができる。したがって、fn1を0.60%以上とした。

【0036】fn2：前記②式のfn2が0.60を超えると上記したfn1が0.60%以上であってもフェライトを強化する元素の量が不足するため、非調質鋼の耐疲労特性が劣化してしまう。したがって、fn2を0.60以下とした。

【0037】上記の化学組成を有する鋼は通常の方法で溶製された後、例えば通常の方法による熱間での圧延及び鍛造を受け、更に必要に応じて機械加工されて所定形状のシャフト類に仕上げられる。

【0038】

【実施例】表1～3に示す化学組成の鋼を通常の方法によって試験炉を用いて200kg真空溶製した。表1、2における鋼1～15は本発明鋼、表2、3における鋼16～30は成分のいずれかが本発明で規定する範囲から外れた比較鋼である。

【0039】

【表1】

表 1

区 分	銅	化 学 組 成 (重量%)														残部: Feおよび不純物								
		C	Si	Mn	S	V	Ti	Zr	Ti,Zr	N	P	Cu	Ni	Cr	Mo	W	Nb	Al	Pb	Ca	Te	Bi	fn1	fn2
本 発 明 銅	1	0.33	0.20	0.80	0.050	0.102	0.009	-	0.009	0.0098	0.025	0.05	0.02	0.11	0.04	-	-	0.009	0.15	0.0010	-	-	0.74	0.45
	2	0.27	0.25	0.65	0.046	0.181	-	0.022	0.011	0.0122	0.033	-	0.04	-	-	-	0.047	0.008	-	-	-	-	0.77	0.35
	3	0.35	0.06	0.82	0.040	0.247	0.009	0.014	0.016	0.0137	0.012	0.21	0.18	0.13	-	-	0.015	0.022	0.10	0.0009	0.03	-	1.01	0.45
	4	0.28	0.57	0.63	0.045	0.090	0.024	0.020	0.034	0.0284	0.008	0.05	-	-	-	-	-	-	0.11	0.0007	-	0.013	0.73	0.38
	5	0.21	0.18	0.64	0.013	0.496	0.010	-	0.010	0.0022	-	-	-	-	-	0.18	0.029	0.008	0.13	0.0013	-	-	1.17	0.18
	6	0.27	0.33	0.74	0.043	0.082	0.011	-	0.011	0.0108	0.040	-	-	0.99	-	-	-	0.015	0.12	0.0009	-	-	0.95	0.28
	7	0.43	0.24	0.77	0.065	0.124	-	0.036	0.018	0.0197	0.022	0.05	0.11	0.15	-	-	0.024	0.016	-	-	0.09	-	0.94	0.46
	8	0.28	0.69	0.67	0.051	0.033	0.021	0.040	0.041	0.0123	0.019	-	-	0.12	-	-	0.013	0.002	0.02	0.0030	-	-	0.62	0.45
	9	0.24	0.26	0.76	0.023	0.138	0.018	-	0.018	0.0050	0.011	-	0.25	0.53	0.06	0.12	0.018	0.009	-	0.0065	-	0.090	0.82	0.29
	10	0.30	0.11	0.75	0.043	0.086	0.007	-	0.007	0.0095	0.016	-	-	-	-	-	-	0.037	0.09	0.0012	0.02	-	0.63	0.48
「Ti, Zr」欄は「Tiと0.5Zrの和 (Ti+0.5Zr)」を意味する。 fn1=C+0.1Si+ (Mn/6) +1.65V+5N+ (Cr/3) fn2= (C/fn1) 式中の元素記号はその元素の含有量 (%) を表す。																								

【0040】

【表2】

表 2

区 分	銅	化 学 組 成 (重量%)														残部: Feおよび不純物								
		C	Si	Mn	S	V	Ti	Zr	Ti, Zr	N	P	Cu	Ni	Cr	Mo	W	Nb	Al	Pb	Ca	Te	Bi	fn1	fn2
本 発 明 銅	11	0.37	0.27	0.68	0.032	0.107	0.047	-	0.047	0.0098	0.027	0.11	0.07	0.05	0.12	0.22	-	0.005	0.16	0.0008	-	-	0.76	0.49
	12	0.50	0.39	0.71	0.019	0.334	-	0.014	0.007	0.0114	0.011	-	0.10	0.10	-	-	0.037	0.003	0.03	0.0004	-	0.006	1.30	0.38
	13	0.29	0.18	0.98	0.011	0.115	0.009	0.046	0.032	0.0141	-	0.07	-	-	-	-	0.016	0.035	0.10	0.0020	-	-	0.73	0.40
	14	0.31	0.21	0.77	0.061	0.412	0.012	-	0.012	0.0153	0.013	-	-	0.11	0.28	-	-	0.009	0.13	0.0021	-	-	1.35	0.25
	15	0.41	0.46	0.95	0.036	0.038	0.009	-	0.009	0.0166	0.014	-	-	-	-	0.08	0.007	0.006	0.10	0.0012	-	-	0.76	0.54
比 較 銅	16	0.18	0.51	0.83	0.018	0.109	0.018	-	0.018	0.0089	0.017	0.10	-	0.17	-	-	-	0.003	0.10	0.0008	-	-	0.65	0.28
	17	0.53	0.23	0.76	0.067	0.124	0.021	-	0.021	0.0137	0.043	-	0.20	0.06	-	0.10	-	0.025	0.17	0.0013	-	-	0.97	0.54
	18	0.35	0.03	0.79	0.019	0.039	-	0.016	0.008	0.0146	0.022	-	-	-	-	-	0.011	0.036	-	-	-	0.62	0.56	
	19	0.21	0.66	0.25	0.050	0.038	0.011	-	0.011	0.0187	0.022	0.24	0.12	0.44	-	-	-	0.009	0.08	0.0033	0.05	-	0.62	0.34
	20	0.35	0.05	0.65	0.026	0.057	0.015	-	0.015	0.0095	0.055	-	-	0.09	0.20	-	-	0.022	0.06	0.0010	-	0.008	0.64	0.55
「Ti, Zr」欄は「Tiと0.5Zrの和 (Ti+0.5Zr)」を意味する。 fn1=C+0.1Si+(Mn/6)+1.65V+5N+(Cr/3) fn2=(C/fn1) 式中の元素記号はその元素の含有量 (%) を表す。 アンダーラインは本発明の範囲から外れていることを示す。																								

【0041】

【表3】

表 3

区 分	鋼	化 学 組 成 (重量%)														残部: Feおよび不純物									
		C	Si	Mn	S	V	Ti	Zr	Ti, Zr	N	P	Cu	Ni	Cr	Mo	W	Nb	Al	Pb	Ca	Te	Bi	f _{n1}	f _{n2}	
比 較 鋼	21	0.33	0.29	0.47	0.042	0.124	0.009	-	0.009	0.0083	0.011	-	-	-	-	-	-	0.020	-	-	-	-	0.68	0.49	
	22	0.30	0.20	0.67	0.018	0.105	-	0.022	0.011	0.0018	0.015	0.04	-	-	0.15	0.06	0.047	0.019	0.23	0.0008	0.02	-	0.62	0.48	
	23	0.35	0.18	0.95	0.033	0.005	0.009	0.014	0.016	0.0067	0.019	-	0.22	0.18	-	-	0.015	0.018	0.17	0.0010	-	-	0.63	0.56	
	24	0.47	0.19	0.73	0.028	0.261	0.024	0.020	0.034	0.0088	0.019	-	-	0.36	0.06	-	-	0.010	0.33	0.0011	-	-	1.21	0.39	
	25	0.46	0.20	0.81	0.019	0.001	-	-	-	0.0042	0.013	-	-	0.01	-	-	-	0.035	-	-	-	-	0.64	0.72	
	26	0.51	0.19	0.76	0.015	0.002	0.011	-	0.011	0.0049	0.015	0.03	0.05	0.02	-	-	-	0.044	-	-	0.06	-	0.69	0.74	
	27	0.45	0.22	0.77	0.018	0.001	-	0.036	0.018	0.0041	0.014	-	-	0.03	-	-	0.024	0.012	0.15	0.0005	-	-	0.63	0.71	
	28	0.44	0.35	0.86	0.021	0.008	0.021	0.040	0.041	0.0045	0.009	0.05	0.06	0.02	-	-	0.013	0.011	-	0.0012	-	0.075	0.66	0.67	
	29	0.33	0.24	0.76	0.032	0.025	0.018	-	0.018	0.0059	0.011	-	-	0.06	-	-	0.018	0.008	-	-	-	-	0.57	0.58	
	30	0.46	0.33	0.80	0.016	0.024	0.007	-	0.007	0.0097	0.013	-	-	0.07	-	-	-	0.014	-	-	-	-	0.74	0.62	
<p>「Ti, Zr」欄は「Tiと0.5Zrの和 (Ti+0.5Zr)」を意味する。</p> <p>$f_{n1} = C + 0.1Si + (Mn/6) + 1.65V + 5N + (Cr/3)$</p> <p>$f_{n2} = (C/f_{n1})$ 式中の元素記号はその元素の含有量 (%) を表す。</p> <p>アンダーラインは本発明の範囲から外れていることを示す。</p>																									

【0042】次いで、これらの鋼を通常の方法によって鋼片となした後、1250℃に加熱してから、1200～950℃の温度で直径20mmの丸棒に熱間鍛造し、その後常温まで空冷した。

【0043】こうして得られた丸棒から平行部径が8mmの小野式回転曲げ疲労試験片を切り出して常温、大気中、3000rpmの条件で疲労試験を行なった。又、JIS4号引張試験片を切り出し常温で引張試験を行った。

【0044】なお参考のために、鋼25の上記20mm丸棒を870℃に加熱して水焼入れし、600℃で焼戻ししてから平行部径が8mmの小野式回転曲げ疲労試験片とJIS4号引張試験片を切り出し、これらに530℃で6時間の軟窒化処理を行って上記の条件で疲労試験と引張試験を行った。

【0045】試験結果を表4に示す。

【0046】

【表4】

表 4

区分	鋼	引張強度 (MPa)	疲労強度 (MPa)	区分	鋼	引張強度 (MPa)	疲労強度 (MPa)
本 発 明 例	1	742	337	比 較 例	16	598	310
	2	750	349		17	963	308
	3	1006	372		18	595	318
	4	718	327		19	597	315
	5	1108	387		20	609	315
	6	953	359		21	656	314
	7	935	354		22	595	309
	8	623	331		23	632	314
	9	828	349		24	1210	313
	10	635	331		25	640	259
	11	740	338		26	700	248
	12	1228	404		27	639	265
	13	728	348		28	665	278
	14	1256	392		29	579	311
	15	755	333		30	738	317
参	25	805	326	(注) 左記の参は参考例で、 鋼25に調質処理と軟窒化処理を施したものの結果である。			

【0047】本発明鋼である鋼1～15については、いずれも所望の600MPa以上の引張強度と320MPa以上の疲労強度が得られている。

【0048】これに対して、成分のいずれかが本発明で規定する含有量の範囲から外れた比較鋼のうち、C量、Si量、Mn量、N量、V量及びfn1がそれぞれ低目に外れた鋼16、鋼18、鋼19、鋼21、鋼22、鋼23と鋼29は疲労強度が320MPaに達していない。更に上記の鋼のうち鋼16、鋼18、鋼19、鋼22及び鋼29では引張強度も600MPaに未達である。

【0049】又、C量、P量、Pb量及びfn2がそれぞれ高目に外れた鋼17、鋼20、鋼24～28及び鋼

30では、引張強度は600MPaを超えているものの、疲労強度が320MPaに達していない。

【0050】なお表4に参考例として示したように、鋼25に焼入れ焼戻しの調質処理を施し、その後軟窒化処理した従来タイプの場合には引張強度と疲労強度は共に目標値（引張強度：600MPa、疲労強度：320MPa）に達している。

【0051】

【発明の効果】本発明による非調質鋼を用いれば、調質処理と軟窒化処理の両方を施すことなく、機械構造用炭素鋼などに調質処理した後軟窒化処理を施す場合と同等の耐疲労特性をシャフト類に付与できるので、産業上の効果は大きい。